

Подбор оптимальных параметров расчета толщины маломощных пластов при помощи классификации по форме сейсмопротяжки

©2024 Б. В. Платов[✉], А. И. Кадиров, Р. А. Зинюков, Д. Р. Минекаева

Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, 4, 420111, Казань, Российская Федерация

Аннотация

Введение: определение мощности нефтегазоносных пластов важно для точной оценки запасов нефти и газа, особенно в условиях малых толщин пластов. Для расчета межскважинном пространстве применяют трёхмерную сейсморазведку, однако её разрешающая способность ограничена четвертью длины волны (порядка 12–20 м).

Методика: в данной работе рассмотрены критерии подбора параметров для расчета толщины маломощного пласта при помощи классификации по форме сигнала. Анализировалось влияние на точность расчетов следующих параметров: длина временного интервала анализа, положение интервала анализа относительно отражения от кровли анализируемого интервала, количество классов и связанный с ним шаг глубины по каждому из классов. Оценка качества результатов проводилась расчетом среднеквадратической ошибки между расчетной мощностью пласта и толщиной пласта по скважинам.

Результаты и обсуждение: в результате расчетов были подобраны оптимальные параметры расчета толщины маломощного пласта по классификации по форме сигнала: длина интервала равна 20 мс, что соответствует периоду колебания рассматриваемого сигнала, расположение интервала симметрично относительно отражения от кровли исследуемого интервала, шаг класса по глубине 2 м (25 классов на 50 метровый интервал).

Выводы: применение классификации по форме сейсмического сигнала можно использовать для расчета толщины маломощных пластов за пределами разрешающей способности сейсморазведки.

Ключевые слова: сейсморазведка, интерпретация сейсморазведочных данных, маломощный пласт, классификация по форме сейсмопротяжки.

Для цитирования: Платов Б. В., Кадиров А. И., Зинюков Р. А., Минекаева Д. Р. Подбор оптимальных параметров расчета толщины маломощных пластов при помощи классификации по форме сейсмопротяжки // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2024. № 3. С. 114–120. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/3/114–120>

Введение

Информация о толщине продуктивного пласта необходима геологам для решения целого ряда геологических задач:

- Подсчёт запасов
- Проектирование и бурение горизонтальных скважин
- Разработка дизайна и проведения гидравлического разрыва пласта

- Выделение геологических объектов с переменной мощностью

В случае маломощных пластов (с толщиной менее 20 м) прибегают к специальным подходам оценки толщин по данным сейсморазведки.

Разрешающая способность сейсморазведочных данных ограничена четвертью длины волны [1]. Для стандартных съемок эта величина составляет порядка



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Платов Борис Викторович; e-mail: swborispl@mail.ru

12–20 м (разница возникает за счет разных интервальных скоростей и частот сейсмического сигнала). Однако для малых толщин существует взаимосвязь между суммарной амплитудой отражения и толщиной слоя [2, 3]. Такой подход позволяет оценить толщины не только по трассировке пластов, но и по анализу динамических характеристик отражения.

Форма сейсмопротяжки зависит от факторов, таких как особенности источника, поглощающие свойства среды, явления на отражающих границах, особенности приема и регистрации волн [4]. Характеристики пластов, такие как пористость, насыщение и литология,

могут быть отражены в изменении формы и характера сейсмической волны [5, 6]. Кроме этого можно оценить мощность пласта даже за пределами ограничения разрешающей способности [7]. Суть данного подхода – моделирование влияния изменения расстояния между акустически контрастными отложениями на форму сейсмического сигнала. Пример изменения формы сейсмического сигнала от толщины пласта показан на рисунке 1. Как видно из рисунка, изменение формы сейсмического сигнала зависит от мощности пласта даже при толщине значительно менее $\frac{1}{4}$ длины волны [8].

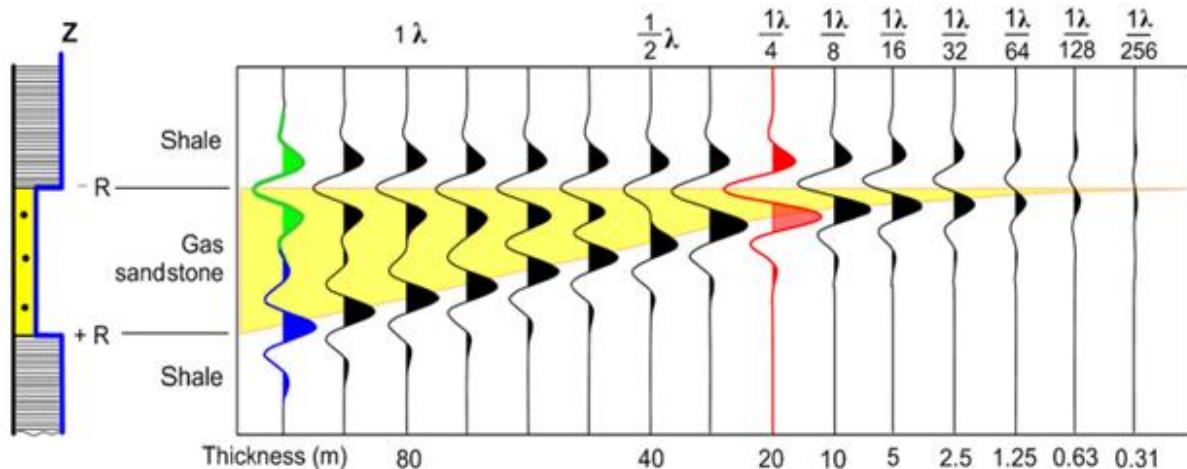


Рис. 1. Изменение формы сейсмического сигнала в зависимости от толщины пласта.

[Fig. 1. Changing the waveform of the seismic signal depending on the thickness of the formation.]

Методика

Объект исследования – тульско-бобриковские отложения на части одного из месторождений на территории Республики Татарстан. Параметры исходных данных: доминирующая частота сейсмического сигнала составляет 50 Гц, интервальная скорость в области исследования 3.5 км/с, длина волны равна 70 м (20 мс). Теоретическая разрешающая способность в таких условиях составляет $70 \text{ м} / 4 = 17.5 \text{ м}$. По скважинным данным мощность тульско-бобриковских отложений на данной площади изменяется от 12 м до 41 м, то есть часть пласта находится за пределами разрешающей способности сейсморазведочных данных.

Для расчета толщины пласта применялся программный продукт Canvas от компании Paradigm. В данном программном продукте реализована возможность расчета математической модели изменения формы сигнала в зависимости от толщины пласта. Расчет проводился в несколько этапов:

На первом этапе была проведена трассировка отражения от кровли изучаемого пласта (отражение от кровли тульского горизонта). Согласно теории, изменение толщины пласта будет влиять на форму сигнала в районе этого отражения [8].

Исходя из этого предположения, была построена математическая модель изменения формы сигнала в зависимости от толщины пласта. Для расчета по опорной

скважине был проведен подбор модельного импульса (импульс Риккера с центральной частотой 50 Гц) и рассчитана синтетическая сейсмопротяжка на основе плотностного и акустического каротажей. Исходя из данных по толщинам пласта в скважинах (от 12 до 41 м) была рассчитана модель изменения формы сигнала в зависимости от толщины пласта от 4 до 54 м (рис. 2).

Следующим шагом была классификация исследуемой площади на сейсмоклассы, полученные в математической модели. Каждый класс модели (модельная сейсмопротяжка) соответствует определенной толщине пласта.

Итоговая карта классификаций имеет дискретный шаг изменения толщины, и, следовательно, расхождение по толщинам в точках бурения скважин. Была рассчитана среднеквадратическая ошибка отклонений расчетной мощности пласта от толщины по скважинам.

Далее проводился анализ изменения ошибки в зависимости от параметров моделирования. В качестве анализируемых параметров применялись:

1. Изменение интервала анализа и его положения относительно кровли. Интервал менялся вверх от отражения (в таблице 1 первое число со знаком «+») и вниз от отражения (в таблице 1 второе число со знаком «-»). Применялся шаг по толщине класса 2 м.

2. Изменение количества классов для анализа от 10 до 100 (шаг толщины класса модели 0.5 м до 5 м). Применялся интервал анализа +10–10 мс.

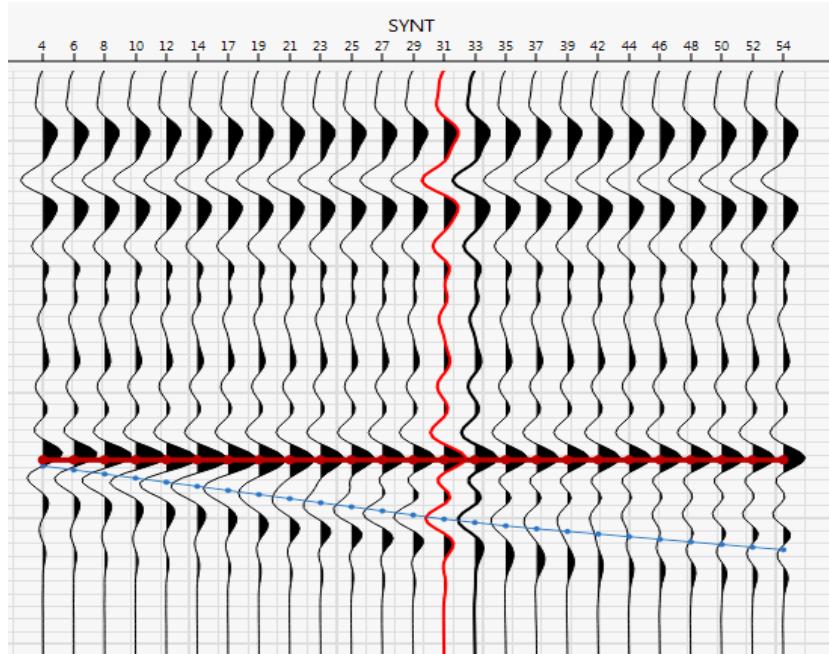


Рис. 2. Расчетные модельные сейсмоподсечки для изменения толщины исследуемого пласта от 4 до 54 м (50 классов). Выделенная красным цветом сейсмоподсечка рассчитана по опорной скважине. Бордовым цветом выделено отражение от кровли исследуемого интервала.

[**Fig. 2.** Calculated model seismic traces for changing the thickness of the researched formation from 4 to 54 m (50 classes). The selected seismic trace was calculated using a reference well. The reflection from the top of the studied interval is highlighted in burgundy color.]

Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2.

Табл. 1. Изменение среднеквадратичной ошибки в зависимости от интервала анализа

[**Table 1.** Change in root mean square error depending on the analysis interval]

| Окно анализа для исследования (относительно отражения от кровли интервала), мс [Analysis window for the study (relative to reflection from the interval top), ms] | Среднеквадратичная Ошибка, м [Root Mean Square Error, m] |
|--|---|
| +0 - 10 | 14 |
| +2 - 10 | 11 |
| +4 - 10 | 10 |
| +6 - 10 | 9.8 |
| +8 - 10 | 9.8 |
| +10-10 | 8 |
| +10-12 | 14 |
| +10-14 | 18 |
| +10-16 | 19 |
| +10-18 | 18 |
| +10-20 | 14 |
| +10-30 | 15 |
| +20 - 20 | 18 |

Обсуждение результатов

В ходе расчетов получены следующие результаты:

1. Изменение интервала анализа.

Минимальный размер окна анализа был принят за половину длины волны (10 мс). Далее проводилось последовательное увеличение интервала до 40 мс.

Как видно из таблицы, наилучшие результаты получены при длине интервала 20 мс (соответствует длине волны) и расположению отражения от кровли по центру интервала (вариант расчета «+10–10»). При изменении интервала на 2 мс (шаг квантования по време-

Табл. 2. Изменение среднеквадратичной ошибки в зависимости изменения количества классов

[**Table 2.** Change in the root mean square error depending on the change in the number of classes]

| Количество классов для окна +10-10 мс [Number of classes for window +10-10 ms] | Среднеквадратичная Ошибка, м [Root Mean Square Error, m] |
|---|---|
| 10 (толщина класса 5 м) [10 (class thickness is 5 m)] | 18.4 |
| 25 (толщина класса 2 м) [25 (class thickness is 2 m)] | 8 |
| 50 (толщина класса 1 м) [50 (class thickness is 1 m)] | 11.2 |
| 100 (толщина класса 0.5 м) [100 (class thickness is 0.5 m)] | 12 |

мени в исходном сейсмическом кубе) ошибка существенно возрастает.

Судя по результатам, отрезок сигнала менее 1 длины волны недостаточен для достоверной оценки изменения толщины пласта. В этом случае сейсмоподсечка изменяется недостаточно для увереной идентификации толщины.

При увеличении интервала анализа более 1 длины волны ошибка также возрастает, поскольку в анализ включается участок сигнала, не связанный с анализируемым пластом.

Анализ положения интервала проводился от положения отражения от кровли пласта вниз, поскольку пласт располагается ниже этого отражения. Начальное положение интервала от отражения от кровли пласта на 10 мс вниз, затем проводилось его увеличение с шагом 2 мс вверх до достижения равных интервалов выше и ниже отражения, затем интервал увеличивался вниз. Наилучшие результаты получены для интервала, симметричного относительно отражения от кровли

интервала. Смещение интервала относительно симметричного положения в обе стороны приводит к увеличению ошибки.

На рисунке 3 приведены карты классификации по форме сигнала для разных параметров интервала анализа.

Наилучшие результаты были получены при 25 классах на 50 метровый интервал (1 класс на 2 м). При

увеличении количества классов (уменьшении шага класса) растёт ошибка. Это связано с тем, что сейсмические сигналы не могут уловить столь незначительные изменения толщины и возрастает влияние шумов в записи. При увеличении шага ошибки также возрастает, что связано со слишком большим скачком толщин на границе разных классов.

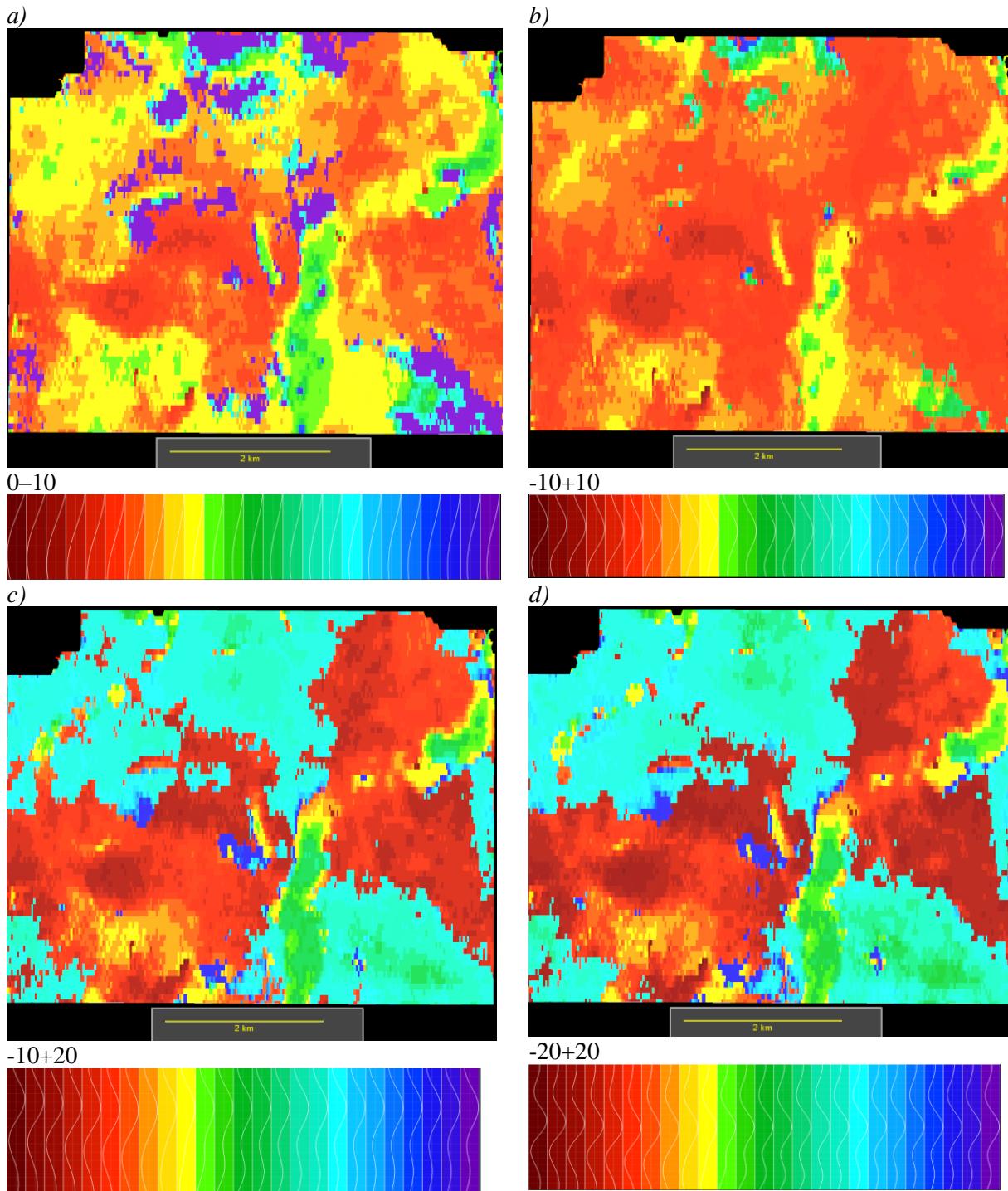


Рис. 3. Карты классификации по форме сигнала для параметров интервала анализа: а) 0 – 10 мс; б) +10 – 10 мс; в) +10 – 20 мс; г) +20 – 20 мс.

[Fig. 3. Waveform classification maps for analysis interval parameters: (a) 0 – 10 ms; (b) +10 – 10 ms; (c) +10 – 20 ms; (d) +20 – 20 ms.]

2. Изменение количества классов

На рисунке 4 приведены карты классификации по форме сигнала для разного количества классов. Как видно, при всех приведенных параметрах отчет-

ливо прослеживается увеличение толщины вдоль вытянутого с юга на северо-восток объекта. Этот объект является палеоканалом, наличие которого подтверждается по скважинным данным.

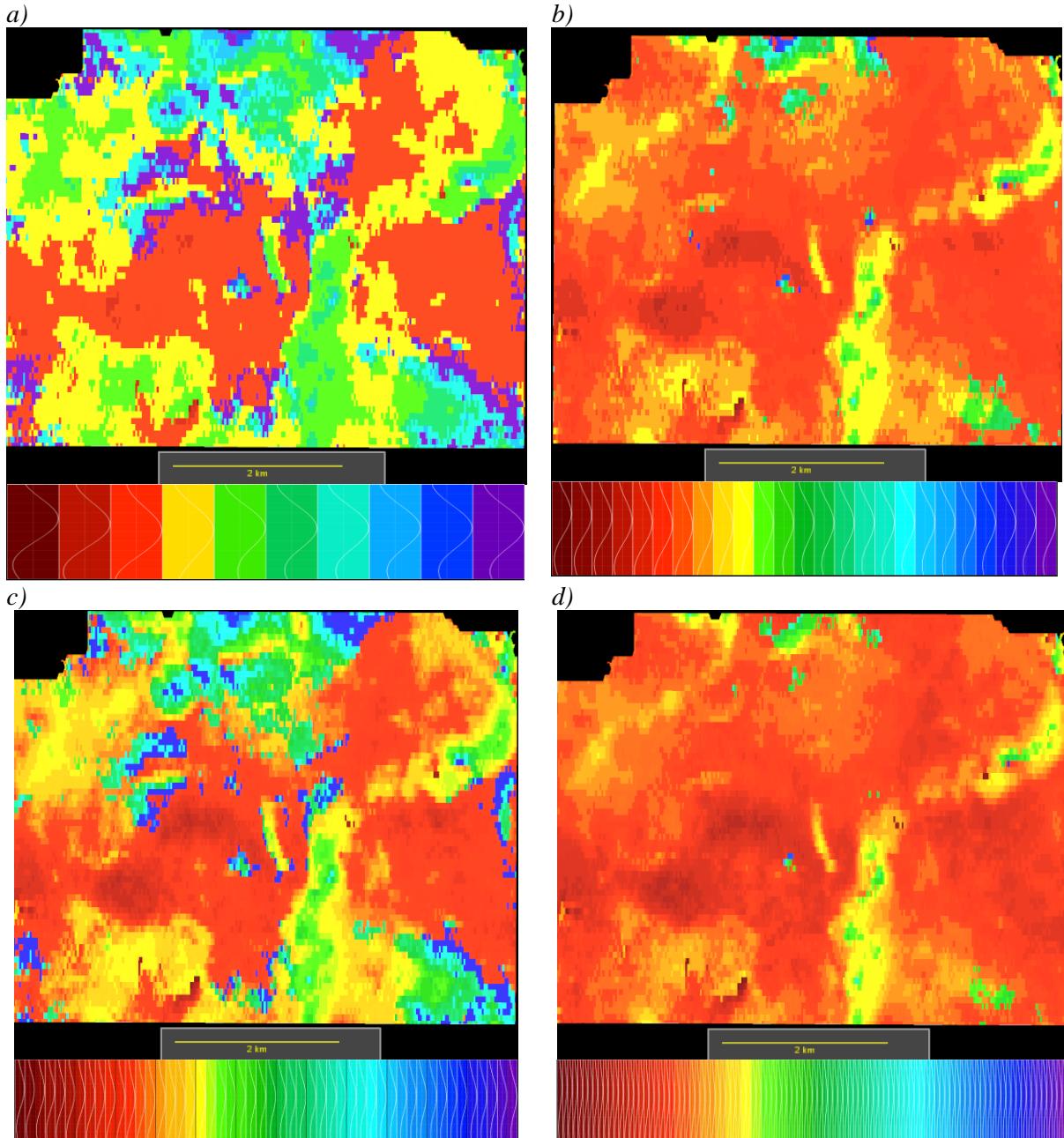


Рис. 4. Карты классификации по форме сигнала для параметров интервала анализа: *a*) – 10 классов; *b*) – 25 классов; *c*) – 50 классов; *d*) – 100 классов.

[**Fig. 4.** Classification maps by signal shape for analysis interval parameters: (*a*) – 10 classes; (*b*) – 25 classes; (*c*) – 50 classes; (*d*) – 100 classes.]

Результаты

В результате проведенной работы была создана математическая модель изменения формы сейсмической трассы в зависимости от изменения толщины малоощущенного пласта. Оценивались параметры изменения интервала анализа от 10 до 40 мс (от $\frac{1}{2}$ до 2 длин волн) и шаг толщины в классе (от 0.5 м на класс до

5 м на класс).

Наилучшие параметры для расчета толщины малоощущенного пласта получились следующие: длина интервала равна длине волны (20 мс), расположение интервала симметрично относительно отражения от кровли исследуемого интервала, шаг класса по глубине 2 м.

Применение классификации по форме сейсмичес-

кого сигнала можно использовать для расчета толщины маломощных пластов за пределами разрешающей способности сейсморазведки и выделения геологических тел с увеличенной толщиной (таких как палеоканалы).

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Widess M. B. How thin is a thin bed? // *GEOPHYSICS*. 1973. Vol. 38. P. 1021–1240
2. Богания Г. М., Гурвич И. И. Сейсморазведка. Тверь: АИС, 2006. 744 с.
3. Neidell N. S., Poggiagliolmi E. Stratigraphic modeling and interpretation – Geophysical principles and techniques: Section 3. Stratigraphic models from seismic data // *Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration*. 1977. 4. Vol. 26. P. 389–416.
5. Карпенко И. В., Тяпкин Ю. К. Способ повышения разрешенности сейсмической записи при линейной зависимости фазового спектра элементарного сигнала от частоты // *Доклады АН УССР*. 1981. № 6. С. 20–23.
6. Zahraa A, Ghosh D. Seismic Waveform Classification of Reservoir Properties Using Geological Facies Through Neural Network // *ICIP EG*. 2016. 2017. P. 525–535.
7. Овечкина В. Ю., Ольнева Т. В. Сейсмогеологический прогноз распространения коллектора для решения задач мониторинга эксплуатационного бурения // *Нефтяное хозяйство*. 2012. № 6. С. 19–21.
8. Lodwick B., Grant-Woolley L. Waveform classification as a pseudo for reservoir thickness // *Adelaide: ASEG-PESA-AIG*. 2016. P 1–4.
9. Guoqiang X., Bilal U.X. Seismic facies analysis: Past, present and future // *Earth-Science Reviews*. 2022. Vol. 224. P. 103876.

Платов Борис Викторович, ст. преподаватель Научно-образовательного центра «ТРИЗ» Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета, Казань, Российская Федерация; e-mail: swborispl@mail.ru; ORCID 0000-0002-4218-9230

Кадиров Айнур Игизарович, аспирант Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета, Казань, Российская Федерация; e-mail: kadirovajnur238@gmail.com; ORCID 0000-0001-5914-8016
Зинюков Рустам Анверович, ст. преподаватель Научно-образовательного центра «ТРИЗ» Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета, Казань, Российская Федерация; e-mail: zinyukov@mail.ru; ORCID 0000-0001-5142-926X

Минекаева Дина Ростамовна, аспирант Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета, Казань, Российская Федерация; e-mail: minekaevadina@gmail.com; ORCID 0000-0003-4847-9834

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Boris V. Platov, Senior lecturer, Scientific-educational center “TRIZ”, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation; e-mail: swborispl@mail.ru; ORCID 0000-0002-4218-9230

Aynur I. Kadirov, Graduate student of Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation; e-mail: kadirovajnur238@gmail.com; ORCID 0000-0001-5914-8016

Rustam A. Zinyukov, Senior lecturer, Scientific-educational center “TRIZ”, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation; e-mail: zinyukov@mail.ru; ORCID 0000-0001-5142-926X

Dina R. Minekaeva, Graduate student of Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation; e-mail: minekaevadina@gmail.com; ORCID 0000-0003-4847-9834

All authors have read and approved the final manuscript.

Selection of optimal parameters for the thin layers thickness calculation using waveform classification

©2024 B. V. Platov[✉], A. I. Kadirov, R. A. Zinyukov, D. R. Minekaeva

*Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University,
st. Kremlevskaya, 4, 420111, Kazan, Russian Federation*

Abstract

Introduction: determining effective thickness is important for estimation of oil and gas reserves. To calculate the thickness of layers in the interwell space, 3D seismic data are used, but the resolution is limited by the wavelength and does not exceed 12–20 m.

Methodology: this paper discusses the criteria for selecting parameters for calculating the thickness of a thin reservoir using waveform classification. Parameters such as the length of the time interval, the position of the interval relative to the top of the analyzed interval, and the number of classes were analyzed. Results quality assessment was carried out by calculating the root-mean-square error between the calculated thickness and thickness in the wells.

Results and discussion: as a result of the calculations, the optimal parameters were selected for calculating the thickness of a thin layer using the waveform classification: the length of the interval is equal to the wave period of the analyzed signal (20 ms), the location of the interval is symmetrical relative to the reflection from the top of the interval, the depth class step is 2 m (25 classes per 50 m interval).

Conclusions: the use of seismic waveform classification can be used to calculate the thickness of thin formations beyond the resolution of seismic surveys.

Keywords: seismic exploration, interpretation of seismic data, thin layer, waveform classification.

For citation: Platov B. V., Kadirov A. I., Mikhel A. A., Zinyukov R. A. Selection of optimal parameters for the thin layers thickness calculation using waveform classification // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya –Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2024, no. 3, pp. 114–120. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/3/114-120>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Widess M.B. How thin is a thin bed? *GEOPHYSICS*, 1973, vol. 38, pp. 1021–1240
2. Boganik G. N., Gurvich I. I. *Sejsmorazvedka* [Seismic exploration]. Tver` AIS publ., 2006, p. 744 (In Russ.)
3. Neidell N. S., Poggiagliolmi E. Stratigraphic modeling and interpretation – Geophysical principles and techniques: Section 3. Stratigraphic models from seismic data. *Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration*, 1977, vol. 26, pp. 389–416.
4. Karpenko I. V., Tyapkin Y. K. Sposob povysheniya razreshennosti sejsmicheskoy zapisi pri linejnoj zavisimosti fazovogo spektra elementarnogo signala ot chastyti [A method for increasing the resolution of seismic recording with a linear dependence of the phase spectrum of an elementary signal on frequency]. *Doklady Akademii Nauk USSR –Proceedings of the Academy of Sciences of USSR*, 1981, vol. 6, pp. 20–23 (In Russ.)
5. Zahraa A, Ghosh D. Seismic Waveform Classification of Reservoir Properties Using Geological Facies Through Neural Network. *ICIP-EG*, 2016, 2017, pp. 525–535.
6. Ovechkina V.Y. Ol`neva T.V. Sejsmogeologicheskij prognoz rasprostraneniya kollektora dlya resheniya zadach monitoringa e`kspluatacionnogo burenija [Geo-seismic reservoir prediction while drilling exploration wells]. *Neftyanoe xozyajstvo – Oil Industry*, 2012, vol 6, pp. 19–21 (In Russ)
7. Lodwick B., Grant-Woolley L. Waveform classification as a pseudo for reservoir thickness. *Adelaide: ASEG-PESA-AIG*, 2016, pp 1–4.
8. Guoqiang X., Bilal U.X. Seismic facies analysis: Past, present and future // *Earth-Science Reviews*, 2022, vol. 224, p. 103876.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Boris V. Platov, e-mail: swborisl@mail.ru